



Varmeledningsevne ved forskellige fugtforhold

Kristiansen, Finn Harken; Rode, Carsten

Publication date:
2000

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Kristiansen, F. H., & Rode, C. (2000). *Varmeledningsevne ved forskellige fugtforhold*. DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet. BYG Sagsrapport No. SR 00-04

General rights

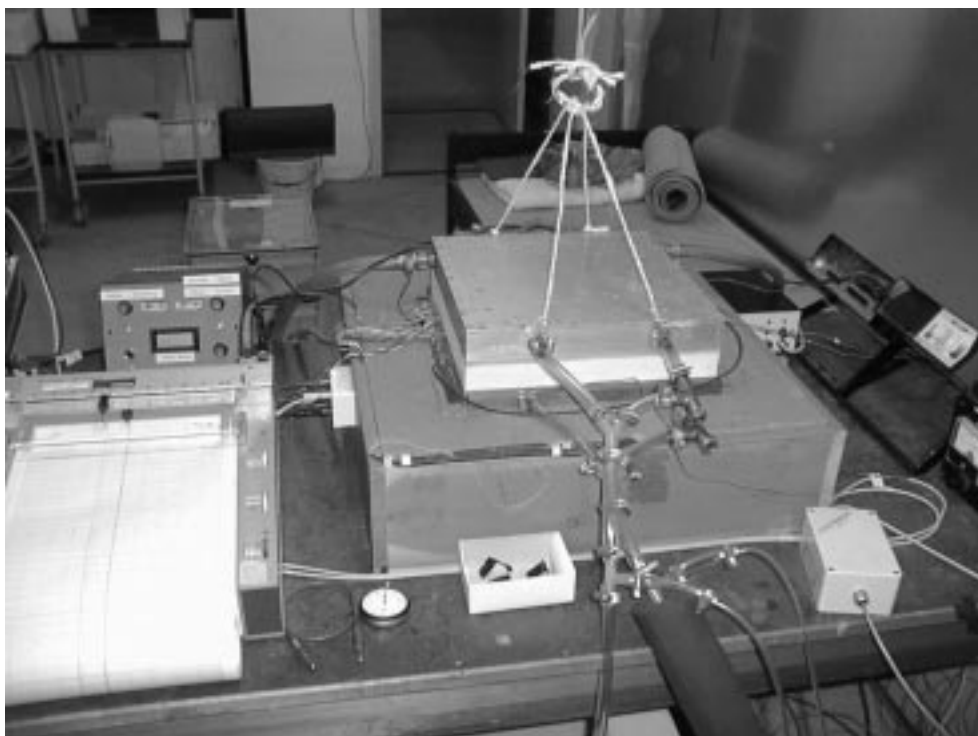
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

VARMELEDNINGSEVNE VED FORSKELLIGE FUGTFORHOLD

Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser
af alternative isoleringsmaterialer



FINN KRISTIANSEN
CARSTEN RODE

INSTITUT FOR BYGNINGER OG ENERGI
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET

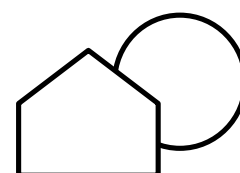
DTU



**SAGSRAPPORT
SR-0004**

1999

ISSN 1396-402x



IBE

VARMELEDNINGSEVNE VED FORSKELLIGE FUGTFORHOLD

Forord

Den foreliggende rapport er en del af rapporteringen for projektet ”Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer” finansieret af Energistyrelsen (J.nr. 75664/98-0034). Projektet er udført i et samarbejde mellem Institut for Bygninger og Energi (IBE) og Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer (BKM), DTU. De øvrige rapporter omhandler

- Hovedrapport (BKM & IBE)
- Produktionsprocesser og hygrotermiske egenskaber for isoleringsmaterialer - leverandør/producentoplysninger (BKM)
- Sorptionsisotermer (BKM)
- Vanddamppermeabilitet (BKM)
- Kapillarsugning (BKM)
- Fugtbuffervirkning (BKM)
- Egenkonvektion i fåreuld og papirisolering (IBE)
- Beregnede fugtforhold i konstruktioner (IBE)

Den foreliggende rapport omhandler målinger af varmeledningsevne ved forskellige fugtforhold.

Lyngby, december 1999
Finn Kristiansen

Sammenfatning

Varmeledningsevnen (λ -værdien) for flere alternative isoleringsprodukter samt et traditionelt produkt er bestemt under forskellige fugtmæssige betingelser i et specielt konstrueret varmepladeapparat.

Varmepladeapparatet er opbygget med en luftspalte på hver side af prøveemnet, hvor fugtmæssigt konditioneret luft kan passere. Hermed er det muligt at opbygge forskellige fugtigheder på hver side af prøveemnet.

Varmeledningsevnen er bestemt for følgende typer alternativ isolering: fåreuld, hør, papirisolering, ekspanderet vulkansk aske samt for mineraluld. Isoleringsprodukterne har været Ekofiber Vind, Herawool (uden støttefibre), Heraflax, Isodan med og uden salte, Miljø Isolering med og uden salte, Perlite (vandafvisende) samt Rockwool A-batts til sammenligning.

Alle målinger med de her undersøgte materialer er startet uden fugtpåvirkning. Ikke desto mindre er opnået resultater, både med og uden fugtpåvirkning, der lå 0-20 % over det forventelige for de anvendte materialer. Målingerne i nærværende undersøgelse bør derfor ikke betragtes at give rigtige absolutte værdier for varmeledningsevnen – men kan give indikationer af fugtniveauets relative betydning.

Varmeledningsevnen udviser for alle materialerne kun en lille afhængighed af fugtniveauet indtil dette når et vist højt niveau (gennemsnits-RF over ca. 75 %). Derefter stiger varmeledningsevnen betydeligt – med op mod 50%. Men denne stigning må formodes at være forårsaget af en ophobning af fugt som kondens i de dele af isoleringen, der ligger umiddelbart bag afdækningen mod luftspalten på den kolde side. De fundne høje λ -værdier har således ikke nogen praktisk betydning i konstruktioner, hvor kondens ikke forekommer. Når der ses bort fra disse kondenssituationer, er den maksimale stigning i varmeledningsevnen på 1,5 til 7,8 % pga. det hygroscopiske optag af fugt fra den omgivende luft.

Indholdsfortegnelse

	side
Forord	1
Sammenfatning	2
Indholdsfortegnelse	3
1. Formål	4
2. Fremgangsmåde.....	4
2.1 Forsøgsopstilling	4
2.2 Forsøgsbeskrivelse	4
3. Materialer	7
4. Måleresultater.....	8
5. Diskussion, mulige fejlkilder	13
6. Konklusion	15
7. Litteratur	15
Appendix A - Detaljerede måleskemaer og kurver for varmeledningsevner for Ekofiber Vind, Heraflax, Herawool, Isodan med/uden salte, Miljø Isolering med/uden salte, Perlite med siliconebehandling og Rockwool A-batts.	17
Appendix B - Måleusikkerhed på regulering af temperaturdifferent mellem luft ud og ind på den varme side i varmepladeapparatet	26

VARMELEDNINGSEVNE VED FORSKELLIGE FUGTFORHOLD

1. Formål

Øget fugtighed i isoleringsmaterialer giver som regel større varmeledningsevne (λ -værdi). Formålet med målingerne er at fastlægge den relative ændring af varmeledningsevnen ved forskellige fugtmæssige forhold for nogle alternative samt for et enkelt traditionelt isoleringsmateriale (mineraluld). Det er derfor vigtigt at fastslå størrelsen af denne forøgede varmeledningsevne, samt ved hvilke forhold det sker.

2. Fremgangsmåde

2.1 Forsøgsopstilling

Bestemmelse af varmeledningsevnen ved forskellige fugtforhold foretages vha. et modificeret varmepladeapparat (modified guarded hot-plate, Th. Lund Madsen, 1969).

På hver side af isoleringsmaterialet kan forskellige relative fugtigheder etableres. Det er muligt at måle varmeledningsevnen af isoleringsmaterialer ved flere forskellige relative fugtigheder på de to sider af prøven.

En principtegning af opstillingen er vist i figur 1.

Apparatet består af en varme- og køleplade. For at sikre en praktisk taget éndimensional varmestrøm gennem prøvematerialet er der foretaget følgende 2 foranstaltninger:

- a) En guardring og en guardplade forhindrer effekten fra varmepladen i at forsvinde til siden og ud gennem bunden på den isolerede kasse. Guardringen og guardpladen holdes på samme temperatur som varmepladen.
- b) Differencen mellem indløbs- og udløbstemperaturen, A-B, af luftstrømmen over varmepladen holdes på 0 K vha. et elektrisk varmelegeme placeret lige før indløbet. Ved denne konstruktion undgås at luften fjerner effekt fra området omkring varmepladen.

Temperaturdifferensen A-B mellem luftindløb og -udløb på den varme side måles vha. en termosøjle (seriekoblede termoelementer) med 5 termoelementer af kobber-konstantan.

Den elektriske spænding og dermed den afsatte effekt fra elvarmelegemet reguleres vha. en styreboks med en integrator, som regulerer efter spændingssignal fra termosøjle A-B. Spændingssignalet (skal være meget nær 0 Volt) kontrolleres ved udskrivning på en skriver (Kipp & Zonen).

Varmepladens elektriske modstand er 24,8 Ohm. Ved at måle spændingsfaldet over varmepladen findes den afsatte effekt fra varmepladen.

Ved luftindtaget til spalten på den varme side er monteret en manifold med 14 huller, som fordeler luften over varmepladen. Ved udløbet er en tilsvarende manifold monteret. I de to manifolder er hver af de 5 elementer i termosøjle A-B indbygget.

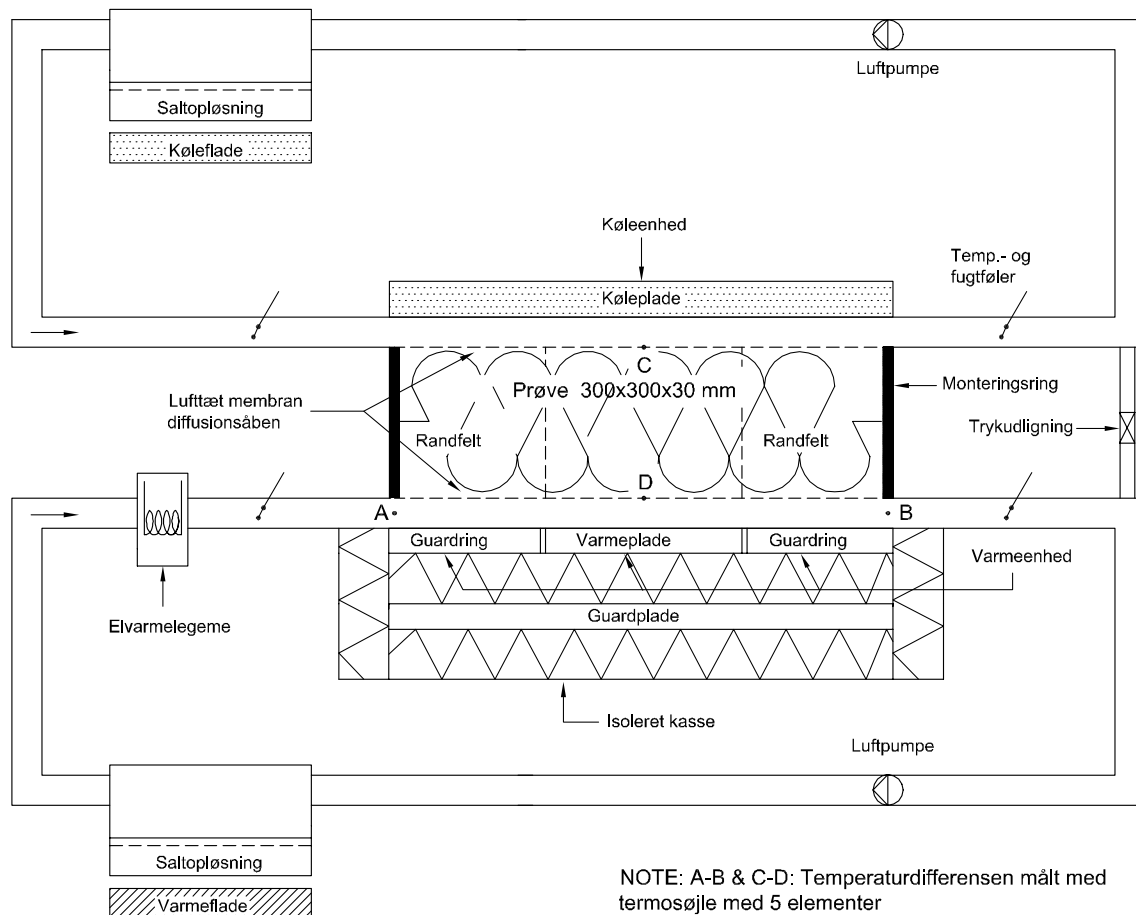
Kølepladen ved den kolde side af prøveemnet holdes på en temperatur på ca. 13°C ved hjælp af væske fra et kølebad (12,4°C). I de modstående ender af kølepladen løber luften i indbyggede manifoldkanaler med huller, hvorved luften fordeles jævnt over prøveemnet.

Varmepladens afgivne effekt indstilles på en forudbestemt konstant værdi og temperaturdifferensen C-D over prøveemnet måles. Denne temperaturdifferens, måles vha. en termosøjle (5 stk. termoelementer, kobber-konstantan) placeret inden for varmepladens areal.

Prøveemnet anbringes i en monteringsring bestående af en firkantet ramme (20 mm bred og 30 mm tyk) af trykfast isolering (polystyren). Rammen virker som afstandsholder mellem de to luftspalter.

Prøveemnet, med dimensionen L x B x H på 260 x 260 x 30 mm, og monteringsringen anbringes mellem den varme og kolde plade, således at der er en luftspalte på hver side af prøven.

Ved hjælp af termosøjler og guard varmeplader i et randområde ved siden af målefeltets varmeplade, samt under denne, sikres samme temperatur disse steder som i selve målefeltet. Selve målefeltet er på 160 x 160 mm. Disse dimensioner, og de nævnte guard varmeplader, sikrer en praktisk taget éndimensional varmestrøm gennem prøveemnet over målefeltet. Ud fra den i målefeltet afsatte effekt og temperaturdifferensen mellem den kolde og den varme side af prøveemnet kan prøveemnets varmeledningsevne bestemmes.



Figur 1. Principskitse af ombygget varmepladeapparat.

Som understøtning af isoleringsmaterialet (afstandsholder mellem varmepladen og den lufttætte membran) er monteret en række parallelle tætningslister (gummi, 10 x 10 mm) med en indbyrdes afstand på ca. 50 mm. Den konditionerede luft strømmer mellem disse lister. Et lignende arrangement definerer luftspalten mellem prøveemnet og kølepladen.

Luftflowet på ca. 675 liter/time i hver af de to luftspalter leveres af to luftpumper (stempelpumper) som reguleres vha. spændingen. Luften passerer et væskekar, hvor den overstryger mættede saltopløsninger (MgCl_2 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ eller NaCl) ved forskellige temperaturer, hvorved fugtigheden (%RF) i de to luftspalter kan reguleres. Karret med saltopløsning på den varme side opvarmes via væske fra et varmebad, når fugtigheden i luften ønskes forøget. Ved målingerne har temperaturen i karret ligget mellem ca. 20°C og 40 °C. På den kolde side er det muligt at køle saltopløsningen med væsken fra kølebadet, som er koblet til apparatets køleplade. Det har ved denne konstruktion været muligt at påføre prøveemnet en fugtpåvirkning og evt. en fugtgradient.

Under måling med luftstrøm og konditioneret luft måles temperatur og fugtighed (%RF) af luften ved varm og kold side. Der er monteret målestudse ved indløb og udløb på den varme og kolde side dvs. i alt 4 studse. Ved målinger uden konditioneret luft måles temperatur og den relative fugtighed i rummet, hvor apparatet er placeret.

På hver side af prøveemnet er anbragt en næsten lufttæt membran (Tyvek-vindspærre L-1060-B) som begrænser muligheden for luftstrømning gennem prøveemnet. Membranen er ret dampdiffusionsåben og er gjort fast til monteringsrammen som underlag og som afdækning for materialerne. Termosøjlen C-D til måling af temperaturdifferensen over prøveemnet monteres på overfladen af isoleringen på de 2 membraners indersider.

På ydersiden, der vender ud mod luftspalten, af de to Tyvek-vindspærre er monteret et termoelement (kobber-konstantan), som benyttes til at beregne luftfugtighed i luftspalterne ved prøveemnet vha. målingerne fra målestudse/rummåling. Temperaturene måles vha. et Fluke instrument.

For yderligere at formindske luftstrømninger gennem prøveemnet er der monteret en trykudligning. Trykudligningen bestående af en tynd plastslange \varnothing 3 mm, som forbinder de to spalter. Forbindelsen udligner trykdifferenser imellem de to spalter og formindsker, sammen med de to Tyvek-vindspærre, luftstrømning gennem prøveemnet.

Ved Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer, BKM er målt dampdiffusionsmodstanden (Z-værdien) af Tyvek-vindspærre ved tør- og vådkopsforsøg. Værdierne er fundet til følgende:

Tør kop (1 %RF/50 %RF) :	0,286 $\text{GPa}\cdot\text{m}^2/\text{s}/\text{kg}$
Våd kop (50 %RF/94 %RF) :	0,076 $\text{GPa}\cdot\text{m}^2/\text{s}/\text{kg}$

Desuden er damppermeabiliteten for de alternative isoleringsmaterialer målt (E. J. de Place Hansen, 1999). De målte permeabiliteter og Z-værdier bliver sidenhen anvendt til at beregne hvilke fugtigheder, prøveemnerne har været udsat for. I appendix er angivet, for hvert produkt, måledata samt beregninger for hver måling.

Det modificerede varmepladeapparat er ikke konstrueret til at måle den almindelige varmeled-

ningsevne λ_{10} (lambda 10) da apparatet ikke opfylder gældende standarder til måling af λ_{10} . Først og fremmest findes der ikke nogen standard, der beskriver måling af λ -værdi ved samtidig konditionering med fugtmæssigt konditioneret luft. Desuden har det anvendte apparatet kølepladen øverst, hvor standarden til bestemmelse af λ_{10} forudsætter at den er nederst. Endelig er målinger foretaget under andre temperaturforhold end ved λ_{10} -målinger, hvor middeltemperaturen af prøveemnet skal være 10°C. Målingerne i dette projekt skal derfor betragtes som relative målinger, der kan give en indikation af varmeledningsevnen af afhængighed af den relative fugtighed.

2.2 Forsøgsbeskrivelse

Prøveemnet anbringes i det modificerede varmepladeapparat. Varme- og kølepladen tilsluttes.

Målingerne foretages med en konstant afgivet effekt på ca. 0,494 W eller 19,3 W/m² fra varmepladen. Temperaturen på den varme side, ved den tilførte effekt, bliver ca. 28°C alt afhængig af varmeledningsevnen af det materiale, der måles på. Temperaturforskellen over prøveemnet ligger typisk omkring 14 K.

Varmeledningsevnen måles først uden luftflow i luftspalterne. Derefter foretages en måling med luftflow, hvor luften ikke er fugtmæssigt konditioneret. Hermed fås, om betingelserne ved luftflow har indflydelse på måling af varmeledningsevnen. De efterfølgende målinger foretages ved forskellige fugtgradier og fugtniveauer på hver side af prøven. Der startes med relative fugtigheder af luften som ligger nær ved rumluftens (ca. 30-50 % RF). Derefter forøges fugtigheden i luftspalterne gradvis og dermed påvirkes også fugtigheden i prøveemnet. Til sidst i prøvningsforløbet opstår der kondens i materialet. Målingerne med luftflow bliver således relative målinger i forhold til målingen, som ikke er fugtmæssigt konditioneret.

Apparatets evne til at måle varmeledningsevnen er indledningsvis blevet kontrolleret uden luftspalte på den varme side ved at måle på et prøveemne af ekstruderet polystyren. Her opnåedes den forventelige varmeledningsevne indenfor ± 1 % ved sammenligning med målinger i et konventionelt λ -apparat. Apparatets evne til at måle varmeledningsevnen, når der er luftspalter mellem prøveemnet og de kolde og varme plader, er herefter blevet afprøvet ved at måle på et prøveemne af ekstruderet polystyren – med og uden luftstrøm i spalterne, men uden fugtpåvirkning. Uden luftstrøm opnåedes en varmeledningsevne, der lå indenfor ± 3 % af det forventelige, medens denne afvigelse var ± 11 % med luftstrøm.

Luftflowet på den varme side er indledningsvis blevet målt til: før indløb 660 liter/time og efter udløb 690 liter/time. Flowet er målt før en ekstra tætning af apparatet med silicone og tape var foretaget. Efter tætning med silicone og tape er der ved et af forsøgene, ved to uafhængige målinger, fundet et luftflow på den varme side som følger: ved indløb 680 liter/time og ved udløb 668 liter /time.

3. Materialer

Varmeledningsevnen er bestemt ved mindst 10 forskellige fugtpåvirkninger for hver af de alternative isoleringsprodukter: Ekofiber Vind, Heraflax, Herawool (uden støttfibre), Perlite SC

(silikonebehandlet). Der er tillige målt på Rockwool A-Batts til sammenligning. Til yderligere sammenligning er gennemført målinger ved et mindre antal forskellige fugtpåvirkninger (dog mindst 3) for hvert af isoleringsprodukterne: Miljø Isolering og Isodan (begge produkter er undersøgt både i varianter med tilsætningsstoffer i form af salte, og uden).

Oversigt over de undersøgte isoleringsprodukter:

Nr.	Materialetype	Densitet ved prøvning	Fabrikat	*Varmeledningsevne
		kg/m ³		W/mK
1	Fåreuld i rulle	28	Herawool uden støttestof	0,040
2	Hør i rulle	34	Heraflax med støttestof	0,040
3	Mineraluld	33	Rockwool A-batts	0,036
4	Papirisolering	65	Ekofiber Vind med salte	0,036
5	Papirisolering	40	Isodan med salte	0,038
6	Papirisolering	60	Isodan uden salte	----
7	Papirisolering	40	Miljø Isolering med salte	0,036
8	Papirisolering	40	Miljø Isolering uden salte	----
9	Perlite	112	Perlite SC siliconebehandlet	0,039

Tabel 1. Oversigt over materialetyper, densiteter ved måling, fabrikater samt producent-oplyste varmeledningsevner.

* Varmeledningsevne oplyst af fabrikant.

Det skal bemærkes, at ved måling af Isodan med og uden salte har densiteten været henholdsvis været 40 kg/m³ og 60 kg/m³. Fabrikanten anbefaler for et loft en densitet på 34 til 45 kg/m³ og for en væg en densitet mellem 55 og 70 kg/m³.

4. Måleresultater

De opnåede måledata for det alternative isoleringsmateriale Ekofiber Vind er vist i nedenstående tabel 2. Tilsvarende detaljerede måledata for alle de 9 materialetyper er angivet i appendix A.

I figur 2 er varmeledningsevnen for Ekofiber Vind som funktion af den relative fugtighed i de to luftspalter angivet. Måledata er fra tabel 1. Punkterne i figuren angiver de målte relative fugtigheder i de to luftspalter. De vandrette linier angiver forskellen mellem de relative fugtigheder mellem luftspalterne.

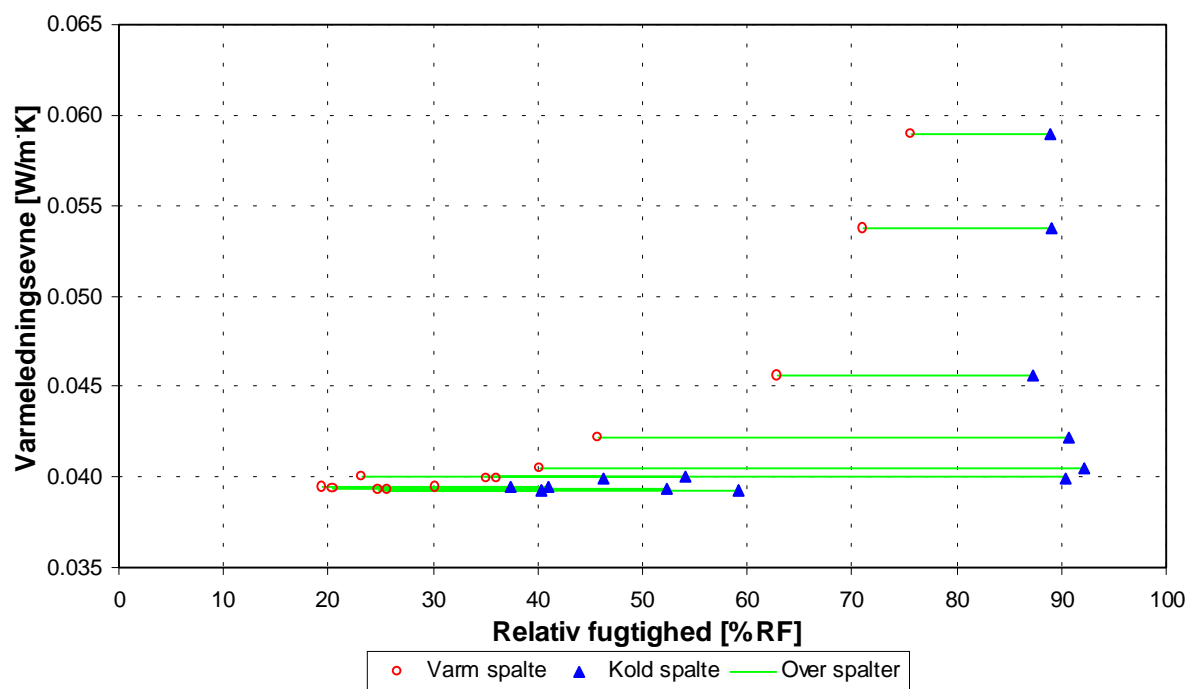
Ud fra den målte Z-værdi for prøveemnet (E. J. de Place Hansen, 1999) og for Tyvek-vindspærre samt de aktuelle relative fugtigheder i luftspalterne er de relative fugtigheder beregnet på den kolde og varme side af prøveemnet, dvs. mellem prøveemne og Tyvek. I figur 3 er vist de målte λ -værdier for Ekofiber Vind som funktion af de beregnede relative fugtigheder på den kolde og varme side af prøveemnet. Det ses, at den relative fugtighed på den kolde side af prøveemnet når 100 %RF dvs. der opstår kondens i emnet. Det ses ud fra tabel 2, at dette forekommer ved de sidste 3 målinger på den kolde side af prøveemnet, hvilket betyder at varmeledningsevnen stiger de sidste 3 målinger (kondens) har ligget på 74, 79 og 81 %RF (tabel 2, sidste kolonne).

Ekofiber Vind			65 kg/m ³								* Måling uden luftstrøm i spalter			
Måling	Tid	Varmeplade effekt	Temp. diff. over prøve	Varmeledningsevne	Afvigelse ift. nr. 2	Varm spalte	Kold spalte	Middel spalter	Damptryksdiff. over spalter	Væskebade Saltopløsninger og opv./køling	Bemærkninger	Varm side prøve	Kold side prøve	Middel prøve
nr.	dato	W/m ²	K	W/mK	%	%RF	%RF	%RF	Pa			%RF	%RF	%RF
* 1	24.11.98	19.350	14.50	0.0400	2.1	23.2	54.2	38.7	0	"Rumluft"	Sammenligning	23.2	54.2	38.7
2	27.11.98	19.350	14.80	0.0392	---	24.8	59.1	42.0	8	"Rumluft"	Reference	24.6	59.2	41.9
3	02.12.98	19.350	14.75	0.0394	0.3	20.4	52.3	36.4	-47	MgCl-bade		21.2	51.2	36.2
4	03.12.98	19.350	14.73	0.0394	0.5	19.4	37.4	28.4	147	MgCl+køling		17.3	41.5	29.4
5	09.12.98	19.350	14.78	0.0393	0.2	25.7	40.4	33.1	351	MgCl+køl+opv		20.5	49.5	35.0
6	11.12.98	19.350	14.70	0.0395	0.7	30.2	41.0	35.6	513	MgCl+køl+opv		22.4	54.1	38.2
7	16.12.98	19.350	14.55	0.0399	1.7	36.2	46.3	41.2	646	MgCl+køl+opv		25.9	61.9	43.9
8	25.12.98	19.350	14.53	0.0400	1.9	35.1	90.4	62.8	-95	MgCl+opv		37.0	89.0	63.0
9	11.01.99	19.295	14.30	0.0405	3.2	40.2	92.1	66.2	41	MgCl+opv		39.4	92.7	66.1
10	18.01.99	19.295	13.73	0.0422	7.5	45.7	90.8	68.2	218	NaCl		41.4	94.4	67.9
11	21.01.99	19.295	12.70	0.0456	16.2	63.0	87.3	75.1	806	NaCl+opv	Ikke stabil	48.4	100.0	74.2
12	25.01.99	19.295	10.78	0.0537	37.0	71.1	89.1	80.1	743	NaCl+opv	Ikke stabil	57.4	100.0	78.7
13	27.01.99	19.295	9.83	0.0589	50.2	75.7	88.8	82.3	759	NaCl+opv	Ikke stabil	62.4	100.0	81.2

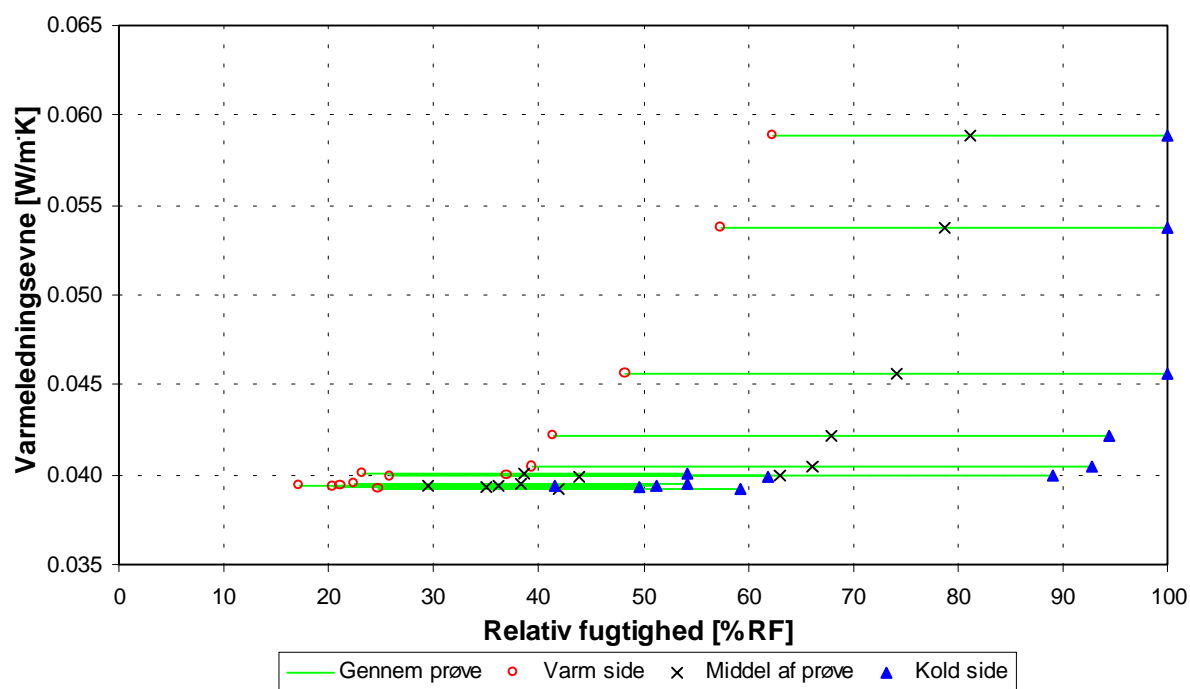
Tabel 2. Måledata for Ekofiber Vind.

Nedenstående tekst angiver overskrift samt forklaring til hver kolonne.

Måling:	Rækkefølge i måleserien.
Tid:	Dato for måleaflæsning.
Varmepladen effekt:	Varmepladens afgivne effekt omregnet til W/m ² ud fra målt spændingsfald over varmeplade
Temp.diff. over prøve:	Målt temperaturdifferens over prøveemne
Varmeledningsevne:	Beregnet varmeledningsevne af prøveemne ud fra varmepladens effekt samt temperaturdifferens over prøveemnet
Afvigelse ift. nr. 2:	Afvigelse i varmeledningsevne i forhold til måling nr. 2 som er med luftflow, men uden konditionering af luften.
Varm spalte:	Den relative fugtighed i den varme luftspalte.
Kold spalte:	Den relative fugtighed i den kolde luftspalte
Middel spalter:	Gennemsnit af de relative fugtigheder i de to spalter
Damptryksdiff. over spalter:	Vanddamptryksdifferens mellem den varme- og kolde luftspalte
Væskebade:	Anvendte saltopløsninger i væskebade samt angivelse af evt. opvarmning eller køling
Bemærkninger:	Bemærkning til målingen
Varm side prøve:	Beregnet relativ fugtighed på varm side af prøveemne, dvs. m. Tyvek og prøveemne, ud fra målte Z-værdier
Kold side prøve:	Beregnet relativ fugtighed på varm side af prøveemnet, dvs. m. Tyvek og prøveemne, ud fra målte Z-værdier
Middel prøve:	Gennemsnit af de beregnede relative fugtigheder på de to sider af prøveemne

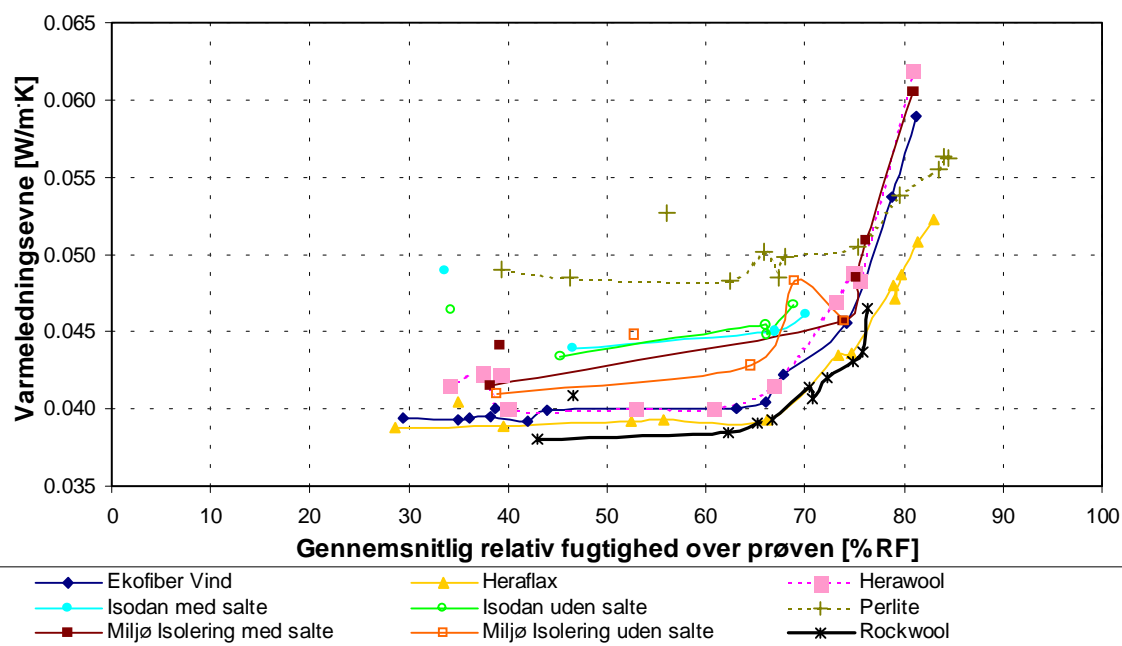


Figur 2. Relativ fugtighed i de to luftspalter ved måling på Ekofiber Vind.



Figur 3. Varmeledningsevnen for Ekofiber Vind med salte ved de beregnede relative fugtigheder på hver side af prøveemnet.

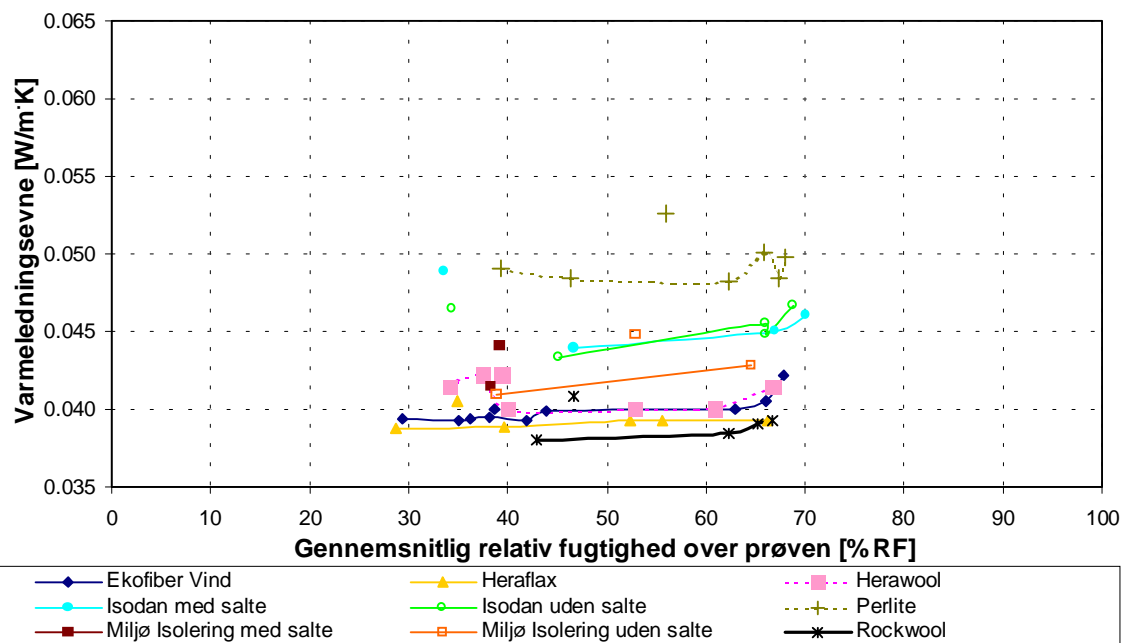
I nedenstående figur 4 er varmeledningsevnen for alle materialerne angivet som funktion af den gennemsnitlige relative fugtighed.



Figur 4. Målte λ -værdier for alle materialer som funktion af den beregnede relative fugtighed i midten af prøveemnet.

Værdierne er angivet som funktion af gennemsnittet mellem den beregnede relative fugtighed på hver side af prøveemnet inden for Tyvek'en. De enkeltstående punkterne i figur 4, uden sammenhæng med forbindelseslinier, er varmeledningmålinger uden luftflow i luftspalterne.

I figur 4 ses, at varmeledningsevnen generelt stiger, når den gennemsnitlige fugtighed over prøven stiger. Ved en gennemsnitlig fugtighed på over ca. 75 % RF stiger varmeledningsevnen markant og har typisk svært ved at stabilisere sig på en endelig værdi, dvs. den når ikke et bestemt niveau, men stiger vedvarende. Dette skyldes, at der opstår kondens på den kolde side af prøveemnet.



Figur 5. Varmeledningmålinger uden kondens i prøveemnet for alle 9 materialer.

I figur 5 er kun målinger uden kondens i materialerne vist. Hermed er det muligt at skønne varmeledningsevnen afhængighed af det hygroskopiske optag af fugt fra den omgivende luft. Af figuren ses, at forøgelsen i varmeledningsevnen generelt udviser en lille stigning, når den gennemsnitlige relative fugtighed forøges.

I tabel 3 er afvigelsen i % i varmeledningsevne i forhold til referencemålingen angivet. Afvigelsen er sammenholdt med de gennemsnitlige relative fugtigheder når der ikke er kondens i materialerne, altså fugtforhold som i figur 5.

Af tabel 3 ses, at forøgelsen i varmeledningsevnen som funktion af fugtigheden stiger op til 7,8 % ved en fugtighed på 69 %RF (Isodan u. salte). Alt i alt sker der en maksimal forøgelse på mellem 1,5 (Heraflax) til 7,8 % for de undersøgte produkter.

Tabel 3 viser desuden afvigelsen mellem målinger med og uden luftstrøm. Måling uden luftstrøm ligger maksimalt mellem 1,8 og 11,2 % fra målingen med luftstrøm uden fugtmæssig konditionering (referencemåling). Målingerne uden luftstrøm har gennemgående givet højere λ -værdier end referencemålingerne med luftstrøm.

Produkt	Ekofiber		Herawool		Heraflax		Isodan m. salte		Isodan u. salte		Miljø m. salte		Miljø u. salte		Perlite		Rockwool	
	%RF	%	%RF	%	%RF	%	%RF	%	%RF	%	%RF	%	%RF	%	%RF	%	%RF	%
Uden luftstrøm	39	2.1	39.3	1.82	35	4.5	34	11.2	34	7.2	39	6.3	53	9.4	56	5.0	47	7.4
	42	0.0	34.1	0	29	0.0	47	0.0	45	0.0	38	0.0	39	0.0	39	-2.1	43	0.0
	36	0.3	37.5	2.01	40	0.3	67	2.4	66	3.5			65	4.6	46	-3.3	62	1.2
	29	0.5	39.9	-3.5	52	1.3	70	4.8	66	5.0					62	-3.8	65	2.7
	35	0.2	52.9	-3.5	56	1.5			69	7.8					66	0.0	67	3.2
	38	0.7	60.9	-3.5	66	1.5									67	-3.3		
	44	1.7	66.8	0											68	-0.6		
	63	1.9																
	66	3.2																
	68	7.5																

Tabel 3. Ændring af varmeledningsevne i % samt den gennemsnitlige relative fugtighed over prøveemne for de 9 produkter, uden kondens.

En beregning af korrektionen for varmeledningsevnen pga. forøget fugtindhold i materialet er foretaget ifølge EN ISO 10456:1999 og vha. sorptionsligevægtsfugtindhold målt hos BKM. Fugtkorrektionskoefficienten f_u , som anvendes ved beregning af korrektionen for varmeledningsevnen ved et øget fugtindhold, er angivet i nedenstående tabel 3. Korrektionen ved at gå fra en varmeledningsevne λ_1 ved ét fugtindhold u_1 til en varmeledningsevne λ_2 ved ét andet fugtindhold u_2 er givet i EN ISO 10456:1999 ud fra følgende udtryk:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a, \text{ hvor}$$

λ	varmeledningsevne	[W/m ² K]
F_T	temperaturkorrektionsfaktor	[-]
F_m	fugtkorrektionsfaktor	[-]
F_a	ældningskorrektionsfaktor	[-]

Det forudsættes for de aktuelle isoleringsmaterialer, at der ikke skal korrigeres for temperatur- og ældning, hvilket vil sige at F_T og F_a er lig med 1,0.

F_m er givet ved følgende udtryk:

$$F_m = \exp(f_u (u_2 - u_1)) \quad , \text{ hvor}$$

u fugtindhold [kg/kg]
 f_u fugtkorrektionskoefficient [-]

Hermed fås $\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_m$ som medfører $f_u = \ln (\lambda_2/\lambda_1) / (u_2 - u_1)$

		Ekofiber	Herawool	Heraflax	Isodan m. salte	Isodan u. salte	Miljø m. salte	Miljø u. salte	Perlite	Rockwool
Lambda 1	W/m·K	0.0395	0.0415	0.0387	0.0439	0.0433	**	0.0409	0.0491	0.0380
Relativ fugtighed	%RF	35.0	34.1	28.7	46.6	45.2		38.9	39.3	43.0
Ligevægtsfugtindhold, u_1	kg/kg	0.08310	0.05330	0.07843	0.06657	0.06520		0.05640	0.00001	0.00154
Lambda 2	W/m·K	0.0422	0.0415	0.0393	0.0461	0.0467		0.0428	0.0498	0.0392
Relativ fugtighed	%RF	67.9	66.8	66.2	70.1	68.8		64.5	68.0	66.7
Ligevægtsfugtindhold, u_2	kg/kg	0.13308	0.09793	0.11740	0.10029	0.09718		0.09306	0.00121	0.00235
Korrektionskoefficient, f_u	----	1.3	0.0	0.4	1.4	2.3		1.2	12	39

* ligevægtsfugtindhold for Isodan med salte er anvendt da Isodan's uden salte ikke er målt.
 ** Ingen måledata er anvendelige.

Tabel 3. Målt varmeledningsevne, relativ luftfugtighed, ligevægtsfugtindhold samt korrektionskoefficient f_u til brug for varmeledningsevnes ændring pga. øget fugtindhold.

For papirisoleringsprodukterne Ekofiber Vind, Isodan og Miljø Isolering ligger de beregnede korrektionskoefficienter stort set på samme niveau. Disse værdier ligger forholdsvis tæt på $f_u = 1$, der er opgivet i prEN 12524 (1998) for "loose-fill cellulose fibre". For Heraflax er den målte korrektion noget mindre, medens den for Herawool praktisk taget er 0,00. For Perlite er der ud fra målingerne beregnet en korrektionskoefficient på 12, medens den i prEN 12524 for "loss-fill expanded perlite" er angivet til værdien 3. På grund af udsvingene i de målte λ -værdier og den lave hygroskopiske kapacitet for Perlite er korrektionskoefficienten navnlig for dette materiale, som for Rockwool, behæftet med stor usikkerhed.

5. Diskussion, mulige fejlkilder

I det følgende er angivet fejlkilder, som kan give måleusikkerhed på varmepladeapparatet og dermed på måling af varmeledningsevnen.

- 1) Måleusikkerheden på termosøjlen C-D (figur 1), som måler differensen over prøveemnet er vurderet til at være ca. $\pm 0,2$ K. Termosøjlen måler typisk en temperaturforskel på ca. 14 K. Da usikkerheden er ca. $\pm 0,2$ K fås en fejl på temperaturmålingen på $(0,2/14) \cdot 100$ % lig med 1,4 %.

For termosøjler er det generelt sådan, at jo større temperaturforskel, der er mellem målepunkterne og/eller omgivelserne desto større usikkerhed er der på målingen pga. varmeledning i måleledningerne til/fra omgivelserne og/eller målepunkterne.

- 2) Termosøjlen A-B (figur 1) over luftindtag og udløb måler typisk en differens omkring de 0 K. Her er usikkerheden meget lille da temperaturdifferensen er meget lille. Usikkerheden på målingen af temperaturdifferensen er skønnet at være i størrelsesordenen $\pm 0,02$ K, hvilket ved de anvendte luftstrømme og varmepladeeffekter giver en fejl på den effekt som luften afgiver/modtager til/fra varmepladen i forhold til varmepladens effekt på følgende:

$$675 \text{ l/h} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1007 \text{ J/kg K} \cdot 0,02 \text{ K} = 0,005 \text{ W, ud af } 0,497 \text{ W, hvilket giver en fejl på ca. } 1 \text{ \%}.$$

- 3) Desuden er der usikkerhed på reguleringen af effekten til luften. Ved varmeledningsmålingerne er det konstateret, at temperaturdifferensen mellem luftindløb og luftudløb kan være op til ca. $\pm 0,05$ K pga. reguleringen. Målefejlen ved regulering af temperaturen af luften mellem ind- og udløb (A-B) i spalten på den varme side er beregnet ud fra målt luftstrøm, termiske data for luft samt en maksimal målt temperaturforskel mellem (A-B).

$$675 \text{ l/h} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1007 \text{ J/kg K} \cdot 0,05 \text{ K} = 0,011 \text{ W, ud af } 0,497 \text{ W, hvilket giver en fejl på ca. } 2,3 \text{ \%}.$$

- 4) Evt. utætheder i luftspalten på den varme side vil give et ekstra varmetab/tilskud og dermed en større/mindre målt varmeledningsevne. I den indledende fase af projektet, dvs. inden varmeledningsmålingerne på materialerne begyndte, er det forsøgt at forbedre lufttætheden. Er der en utæthed, hvor rumluft kan suges ind, i luftspalten på den varme side vil dette bevirke, at denne luft skal opvarmes af varmepladen. For hver liter/time indsuget rumluft vil dette give en fejl på følgende:

$$1 \text{ l/h} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1007 \text{ J/kg K} \cdot (28-22) \text{ K} = 0,002 \text{ W ud af } 0,497 \text{ W, hvilket giver en fejl på ca. } 0,4 \text{ \%}.$$

- 5) Forskellige lufttryk i de to spalter kan give en luftstrøm gennem prøveemnet. Luftstrømmen er reduceret vha. næsten lufttætte Tyvek membraner, som er monteret ved målingerne på de alternative isoleringsmaterialer og ved Rockwool. Senere i projektforsøget, dvs. efter målingerne på Ekofiber Vind og Heraflax, er lufttrykkene forsøgt udlignet mellem de to luftspalter vha. en forbindelse med en tynd plastslange (stor luftmodstand), hermed reduceres luftstrømmen yderligere gennem prøveemnet. Dette har været svært at opnå da trykkene i de to spalter ændrer sig, muligvis pga. de 4 forskellige placeringer af fugtfølere, ændrede fugtforhold samt ved udskiftning af kar med saltopløsninger.

Tyvek-vindspærre har en luftpermeabilitet på $8,33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sm}^2\text{Pa}$. Ved målingerne er der to Tyvek-vindspærre som mindsker luftgennemstrømningen gennem prøveemnet, hvilket giver en samlet permeabilitet på det halve. Ved en lufttryksdifferens på ca. 10 Pa, hvilket har været gældende ved nogle målinger, er luftstrømmen gennem prøveemnet følgende:

$$4,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sm}^2\text{Pa} \cdot (0,16\text{m})^2 \cdot 10 \text{ Pa} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \text{ eller } 3,9 \text{ liter pr. time. Dette giver en effekt på:}$$

$1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 1007 \text{ J}/\text{kg K} \cdot (28-14) \text{ K} = 0,019 \text{ W}$ ud af $0,497 \text{ W}$, hvilket giver en fejl på 3,7 %.

- 6) Desuden er der måleusikkerhed på måleinstrumenter dvs. voltmeter (Kipp & Zonen) og termometre (Fluke). F.eks. er usikkerheden ca. 1 % på voltmeteret, som måler temperatur-differensen over prøveemnet, hvilket giver en fejl på 1 % på differensen og dermed varmeledningsevnen.

Ved måling med det næsten lufttætte kontrolprøveemne (polystyren) var forbedringerne af lufttætheden ikke foretaget, hvilket kan forklare de store afvigelser ($\pm 11 \%$) ved målingen med luftflow.

Den samlede fejl på måling af varmeledningsevnen vil ca. være:

fejl = $F1 + F2 + F3 + F4 + F5 + F6$
 fejl = $+1,4 \% + 1 \% + 2,3 \% + (X \cdot 0,4 \%) + 3,7 \% + 1 \%$. I alt ca. $\pm 8 \%$ alt afhængig af størrelsen af utætheder samt lufttrykdifferensen over prøveemnet.

6. Konklusion

Varmeledningsevnen udviser for alle materialerne kun en lille afhængighed af fugtniveauet indtil dette når et vist højt niveau (gennemsnits-RF over ca. 75 %). Derefter stiger varmelednings-evnen betydeligt – med op mod 50 %. Denne stigning må formodes at være forårsaget af en ophobning af fugt som kondens i de dele af isoleringen, der ligger umiddelbart bag Tyvek-membranen på den kolde side. De fundne høje λ -værdier har således ikke nogen praktisk betydning i konstruktioner, hvor kondens ikke forekommer. Når der ses bort fra disse kondenssituationer, er den maksimale stigning i varmeledningsevnen på 1,5 til 7,8 % pga. det hygroskopiske optag af fugt fra den omgivende luft.

Usikkerheden på målingerne ligger omkring 8 %.

7. Litteratur

Ekofiber. (1997). Produkt information, www.ekofiber.dk.

EN ISO 10456. (1999). *Building materials and products – Procedures for determining declared and design thermal values*. CEN, European Committee for Standardization.

prEN 12524. (draft, June 1998). *Building materials and Products – Hygrothermal Properties – Tabulated design values*. TC 89. CEN, European Committee for Standardization.

prEN 12667. (draft, December 1996). *Building materials – Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods – Products of high and medium thermal resistance*. TC 89. CEN, European Committee for Standardization.

Hansen, E. J. de Place. (1999). *Produktionsprocesser og hygrotermiske egenskaber for isoleringsmaterialer – Leverandør / producentoplysninger*. Serie R, No. 57. Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer, Danmarks Tekniske Universitet. Del af projektet “Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer”.

Hansen, E. J. de Place; K. K. Hansen. (1999). *Sorptionsisotermes*. Serie R, No. 58. Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer, Danmarks Tekniske Universitet. Del af projektet “Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer”.

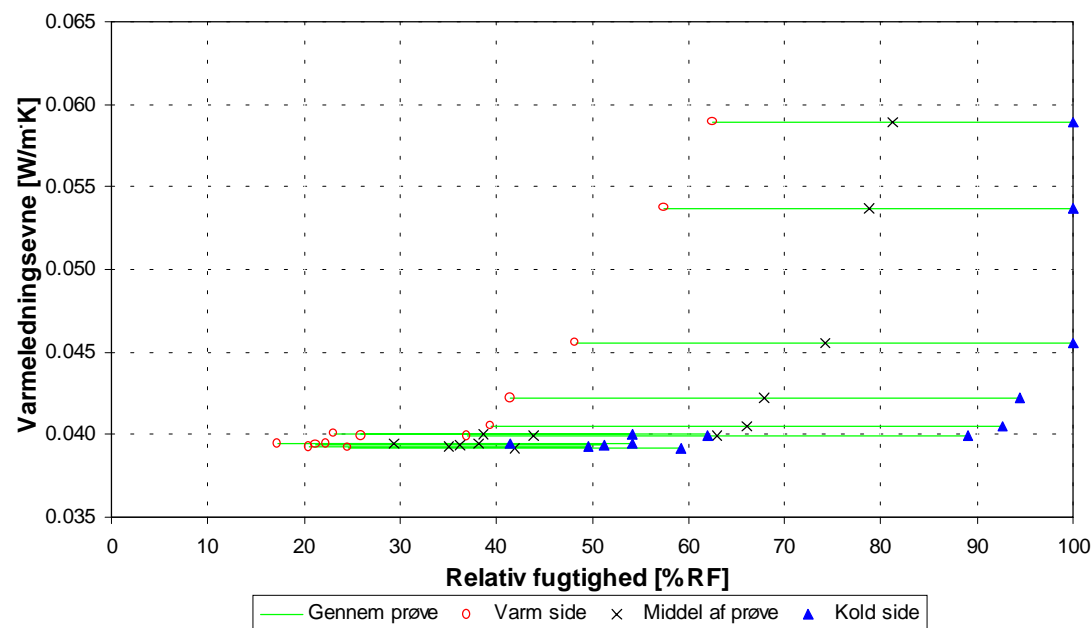
Hansen, E. J. de Place; K. K. Hansen and T. Padfield. (1999). *Measured Moisture Properties for Alternative Insulation Products*. 5th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. August 24-26, Gothenburg, Sweden.

Jespersen H.B. (1960). *Fugtens indvirkning på nogle nyere typer varmeisoleringsmaterialer*. Teknologisk Institut, København.

Lund Madsen, Th. (1969). *Modified Guarded Hot Plate Apparatus for Measuring Thermal Conductivity of Moist Materials*. Supplément au Bulletin de l'Institut International du Froid. Commissions II & VI, Institut International du Froid, Liège. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Meddelelse nr.19.

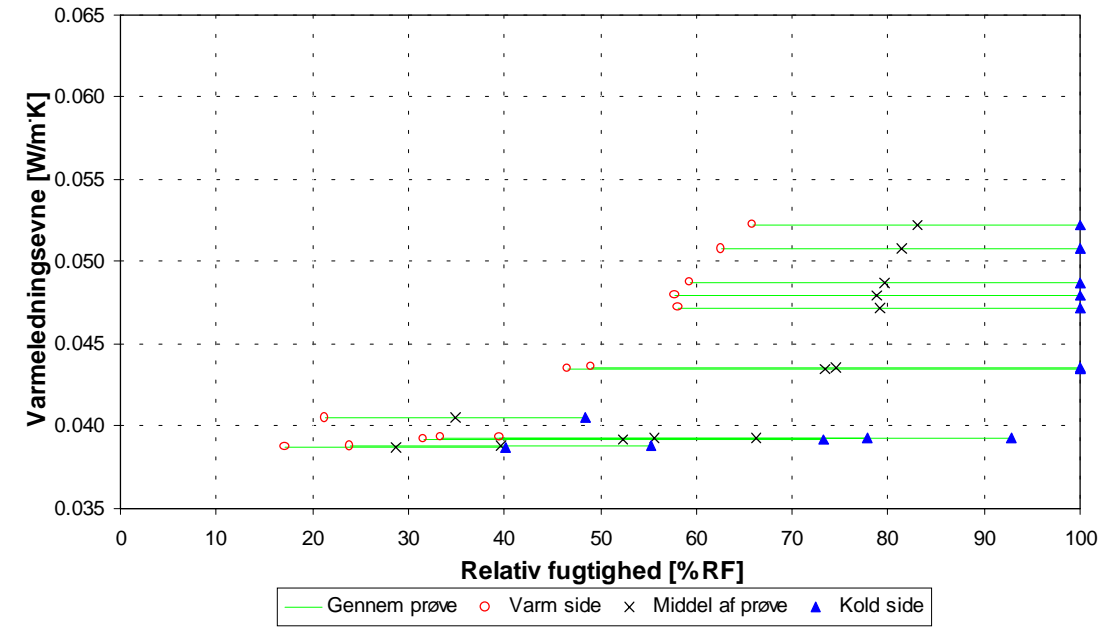
Appendix A. Ekofiber Vind - Detaljeret måleresultater for varmeledningsevne af papirisolering.

Ekofiber Vind			65 kg/m³									* Måling uden luftstrøm i spalter			--- Ikke målt	
Måling	Tid	Varmerplate effekt	Temp. diff. over prøve	Varmeded-ningsevne	Afvigelse ift. nr. 2	Varm spalte	Kold spalte	Middel spalter	Damptryksdiff. over spalter	Væskebade Saltopløsninger og opvarmning/køling	Lufttryksdiff. over prøve	Bemærkninger	Varm side prøve	Kold side prøve	Middel prøve	
nr.	dato	W/m²	K	W/mK	%	%RF	%RF	%RF	Pa		Pa		%RF	%RF	%RF	
* 1	24.11.98	19.350	14.50	0.0400	2.1	23.2	54.2	38.7	0	"Rumløft"	---	Sammenligning	23.2	54.2	38.7	
2	27.11.98	19.350	14.80	0.0392	---	24.8	59.1	42.0	8	"Rumløft"	---	Reference	24.6	59.2	41.9	
3	02.12.98	19.350	14.75	0.0394	0.3	20.4	52.3	36.4	-47	MgCl-bade	---		21.2	51.2	36.2	
4	03.12.98	19.350	14.73	0.0394	0.5	19.4	37.4	28.4	147	MgCl+køling	---		17.3	41.5	29.4	
5	09.12.98	19.350	14.78	0.0393	0.2	25.7	40.4	33.1	351	MgCl+køl+opv	---		20.5	49.5	35.0	
6	11.12.98	19.350	14.70	0.0395	0.7	30.2	41.0	35.6	513	MgCl+køl+opv	---		22.4	54.1	38.2	
7	16.12.98	19.350	14.55	0.0399	1.7	36.2	46.3	41.2	646	MgCl+køl+opv	---		25.9	61.9	43.9	
8	25.12.98	19.350	14.53	0.0400	1.9	35.1	90.4	62.8	-95	MgCl+opv	---		37.0	89.0	63.0	
9	11.01.99	19.295	14.30	0.0405	3.2	40.2	92.1	66.2	41	MgCl+opv	---		39.4	92.7	66.1	
10	18.01.99	19.295	13.73	0.0422	7.5	45.7	90.8	68.2	218	NaCl	---		41.4	94.4	67.9	
11	21.01.99	19.295	12.70	0.0456	16.2	63.0	87.3	75.1	806	NaCl+opv	---	Ikke stabil	48.4	100.0	74.2	
12	25.01.99	19.295	10.78	0.0537	37.0	71.1	89.1	80.1	743	NaCl+opv	---	Ikke stabil	57.4	100.0	78.7	
13	27.01.99	19.295	9.83	0.0589	50.2	75.7	88.8	82.3	759	NaCl+opv	---	Ikke stabil	62.4	100.0	81.2	



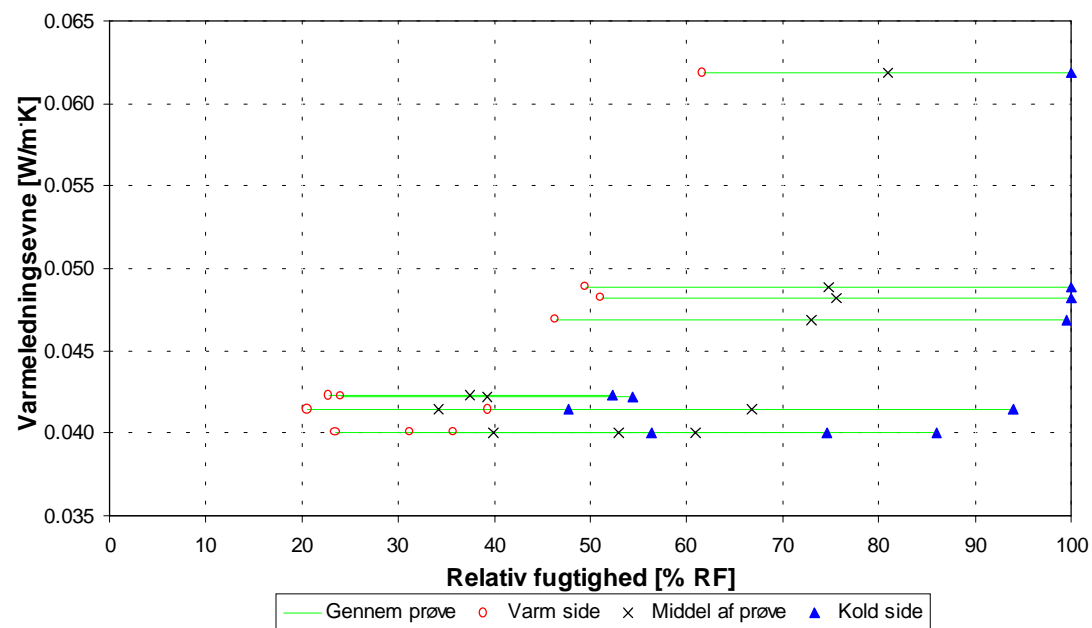
Heraflax - Detaljeret måleresultater for varmeledningsevne af hør.

33,5 kg/m³												* Måling uden luftstrøm i spalter		--- Ikke målt	
Måling	Tid	Varmerplate effekt	Temp. diff. over prøve	Varmeded- ningsevne	Afvigelse ift. nr. 2	Varm spalte	Kold spalte	Middel spalter	Damptryksdiff. over spalter	Væskebade Saltopløsninger og temperatur	Lufttryksdiff. over prøve	Bemærkninger	Varm side prøve	Kold side prøve	Middel prøve
nr.	dato	W/m²	K	W/mK	%	%RF	%RF	%RF	Pa		Pa		%RF	%RF	%RF
* 1	05.02.99	19.295	14.30	0.0405	4.5	22.0	47.5	34.8	40	"Rumløft"	---	Sammenligning	21.4	48.4	34.9
2	16.02.99	19.295	14.95	0.0387	0.0	16.7	41.0	28.8	-32	"Rumløft"	---	Reference	17.2	40.1	28.7
3	22.02.99	19.350	14.95	0.0388	0.3	28.7	48.5	38.6	303	MgCl, Mg(NO)	---		23.9	55.2	39.6
4	26.02.99	19.350	14.80	0.0392	1.3	30.8	73.8	52.3	-47	Mg(NO), Mg(NO)	---		31.7	73.2	52.4
5	01.03.99	19.350	14.78	0.0393	1.5	37.1	75.3	56.2	194	Mg(NO), NaCl	---		33.5	77.9	55.7
6	03.03.99	19.350	14.78	0.0393	1.5	49.8	83.7	66.7	564	Mg(NO), NaCl (24,6°C)	---		39.5	92.9	66.2
7	15.03.99	19.295	13.33	0.0434	12.2	62.4	83.3	72.9	864	Mg(NO), NaCl (26,1°C)	---	10 dage før stabil	46.7	100.0	73.4
8	18.03.99	19.295	12.28	0.0436	12.6	66.3	82.8	74.5	967	Mg(NO), NaCl (26,6°C)	---	Måske stabil	49.2	100.0	74.6
9	22.03.99	19.295	12.28	0.0472	21.8	75.2	87.9	81.5	1053	Mg(NO), NaCl (27,5°C)	---	Ikke stabil	58.1	100.0	79.1
10	23.03.99	19.295	12.08	0.0479	23.8	75.2	85.2	80.2	1067	Mg(NO), NaCl (27,5°C)	---	Ikke stabil	57.7	100.0	78.9
11	24.03.99	19.295	11.88	0.0487	25.9	75.8	89.7	82.8	1016	Mg(NO), NaCl (27,5°C)	---	Ikke stabil	59.4	100.0	79.7
12	25.03.99	19.295	11.40	0.0508	31.1	78.1	92.4	85.2	997	Mg(NO), NaCl (27,5°C)	---	Ikke stabil	62.7	100.0	81.4
13	26.03.99	19.295	11.08	0.0523	35.0	80.7	92.7	86.7	1032	Mg(NO), NaCl (27,5°C)	---	Ikke stabil	65.9	100.0	83.0



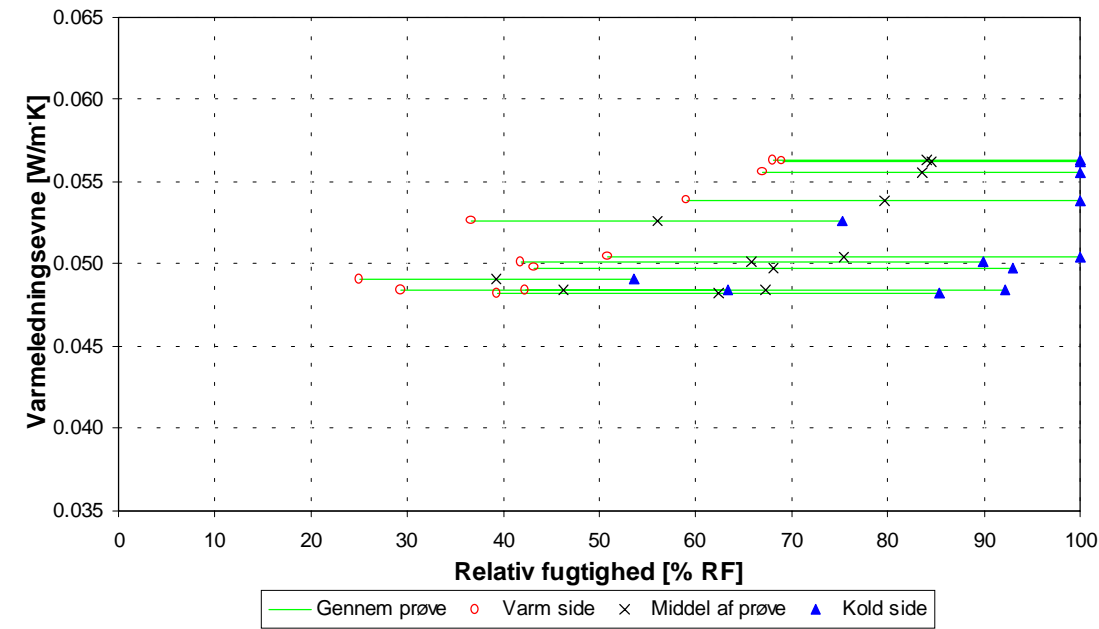
Herawool - Detaljeret måleresultater for varmeledningsevne af fåreuld.

Herawool 27,7 kg/m³												* Måling uden luftstrøm i spalter		--- Ikke målt	
Måling	Tid	Varmeplade effekt	Temp. diff. over prøve	Varmeled-ningssevne	Afvigelse ift. nr. 2	Varm spalte	Kold spalte	Middel spalter	Damptryksdiff. over spalter	Væskebade Saltopløsninger og temperatur	Lufttryksdiff. over prøve	Bemærkninger	Varm side prøve	Kold side prøve	Middel prøve
nr.	dato	W/m²	K	W/mK	%	%RF	%RF	%RF	Pa		Pa		%RF	%RF	%RF
* 1	13.04.99	19.295	13.70	0.0423	1.8	23.6	55.2	39.4	-33	"Rumluft"	---	Sammenligning	24.1	54.5	39.3
2	20.04.99	19.295	13.95	0.0415	0.0	20.1	48.4	34.3	-33	"Rumluft"	---	Reference	20.6	47.7	34.1
3	26.04.99	19.295	13.68	0.0423	2.0	26.5	46.9	36.7	244	MgCl, Mg(NO)(ca. 20,3°C)	---		22.8	52.2	37.5
4	30.04.99	19.350	14.50	0.0400	-3.5	27.4	51.0	39.2	245	MgCl, Mg(NO)(ca. 20,4°C)	ca. 0,0		23.5	56.3	39.9
5	02.05.99	19.350	14.50	0.0400	-3.5	29.1	76.0	52.5	-111	Mg(NO), Mg(NO)(ca. 20,4°C)	---		31.3	74.5	52.9
6	07.05.99	19.295	14.45	0.0401	-3.5	36.1	85.7	60.9	16	Mg(NO), Mg(NO) (22,8°C)	---		35.8	85.9	60.9
7	25.05.99	19.295	13.95	0.0415	0.0	45.4	89.0	67.2	299	Mg(NO), NaCl (21,6°C)	1,3		39.5	94.1	66.8
8	07.06.99	19.295	12.00	0.0482	16.3	63.1	87.6	75.3	584	Mg(NO), NaCl (22,9°C)	4,4	Måske stabil	51.1	100.0	75.5
9	10.06.99	19.295	12.35	0.0469	13.0	59.8	85.5	72.7	680	Mg(NO), NaCl (24,0°C)	---		46.5	99.5	73.0
10	16.06.99	19.295	11.85	0.0488	17.7	64.1	86.3	75.2	749	Mg(NO), NaCl (24,7°C)	---		49.5	100.0	74.8
11	22.06.99	19.295	9.35	0.0619	49.2	77.1	85.1	81.1	907	Mg(NO), NaCl (25,2°C)	0,9		61.8	100.0	80.9



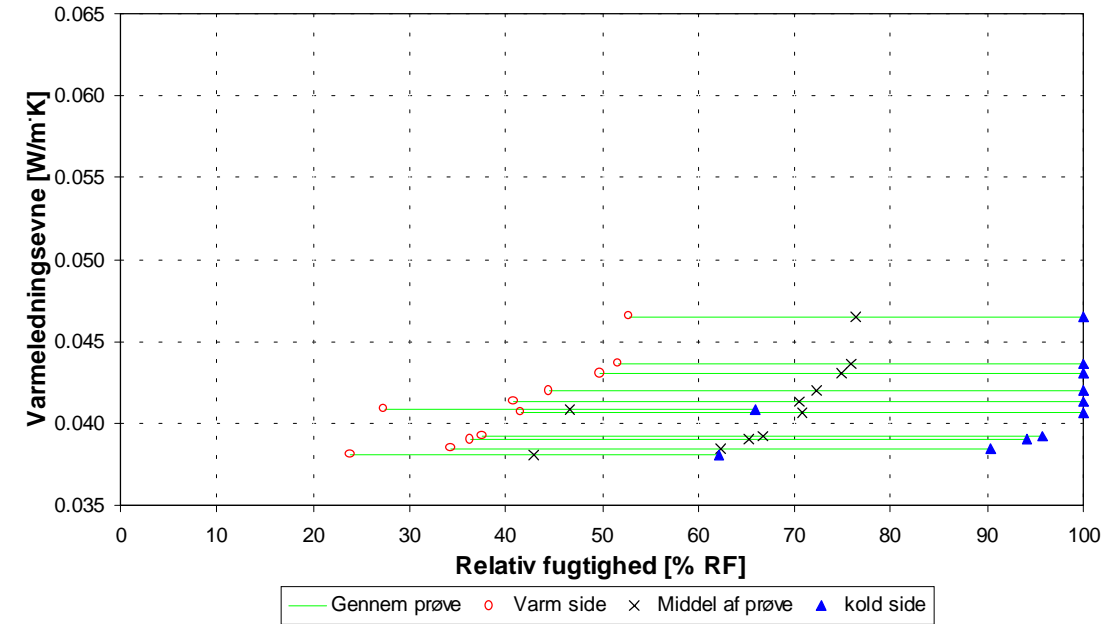
Perlite - Detaljeret måleresultater for varmeledningsevne af vulkansk aske.

Perlite 112,2 kg/m ³											* Måling uden luftstrøm i spalter		--- Ikke målt		
Måling nr.	Tid dato	Varmeplade effekt W/m ²	Temp. diff. over prøve K	Varmeled-ningsevne W/mK	Afvigelse ift. nr. 2 %	Varm spalte %RF	Kold spalte %RF	Middel spalter %RF	Damptryksdiff. over spalter Pa	Væskebade Saltopløsninger og temperatur	Lufttryksdiff. over prøve Pa	Bemærkninger	Varm side prøve %RF	Kold side prøve %RF	Middel prøve %RF
*1	24.08.99	19.295	11.00	0.0526	5.0	36.7	75.3	56.0	0	"Rumluft"	---	Sammenligning	36.7	75.3	56.0
2	29.08.99	19.295	11.55	0.0501	0.0	41.9	89.8	65.9	0	"Rumluft"	-4,8	Reference	41.9	89.8	65.9
3	31.08.99	19.295	11.63	0.0498	-0.6	43.1	93.0	68.0	0	"Rumluft"	-8,6		43.1	93.0	68.0
4	08.09.99	19.295	11.80	0.0491	-2.1	24.1	54.7	39.4	-53	MgCl2 (22°C), MgCl2 (22°C)	2,3		25.1	53.6	39.3
5	13.09.99	19.295	11.95	0.0484	-3.3	35.3	56.3	45.8	325	MgCl2 (22°C), Mg(NO3)2 (22°C)	2,3		29.3	63.3	46.3
6	16.09.99	19.295	12.00	0.0482	-3.8	37.4	86.7	62.1	-95	Mg(NO3)2 (22°C), Mg(NO3)2 (22°C)	-3,6		39.5	85.3	62.4
7	19.09.99	19.295	11.95	0.0484	-3.3	47.6	87.9	67.7	254	Mg(NO3)2 (22°C), Mg(NO3)2 (26,4°C)	---		42.4	92.2	67.3
8	30.09.99	19.295	11.48	0.0504	0.7	64.3	90.8	77.5	712	Mg(NO3)2 (22°C), Mg(NO3)2 (30,6°C)	4,6		50.8	100.0	75.4
9	08.09.99	19.295	10.75	0.0538	7.4	74.9	91.3	83.1	959	Mg(NO3)2 (22°C), Mg(NO3)2 (32,5°C)	---	Muligvis stabil	59.2	100.0	79.6
10	10.10.99	19.295	10.43	0.0555	10.8	81.2	94.0	87.6	1074	Mg(NO3)2 (22°C), Mg(NO3)2 (33,3°C)	---	Faldende tendens	67.0	100.0	83.5
11	11.10.99	19.295	10.30	0.0562	12.1	82.5	94.2	88.4	1074	Mg(NO3)2 (22°C), Mg(NO3)2 (33,2°C)	---	Faldende tendens	69.0	100.0	84.5
12	12.10.99	19.295	10.28	0.0563	12.4	81.8	92.9	87.4	1074	Mg(NO3)2 (22°C), Mg(NO3)2 (33,2°C)	3,6	Faldende tendens	68.1	100.0	84.0



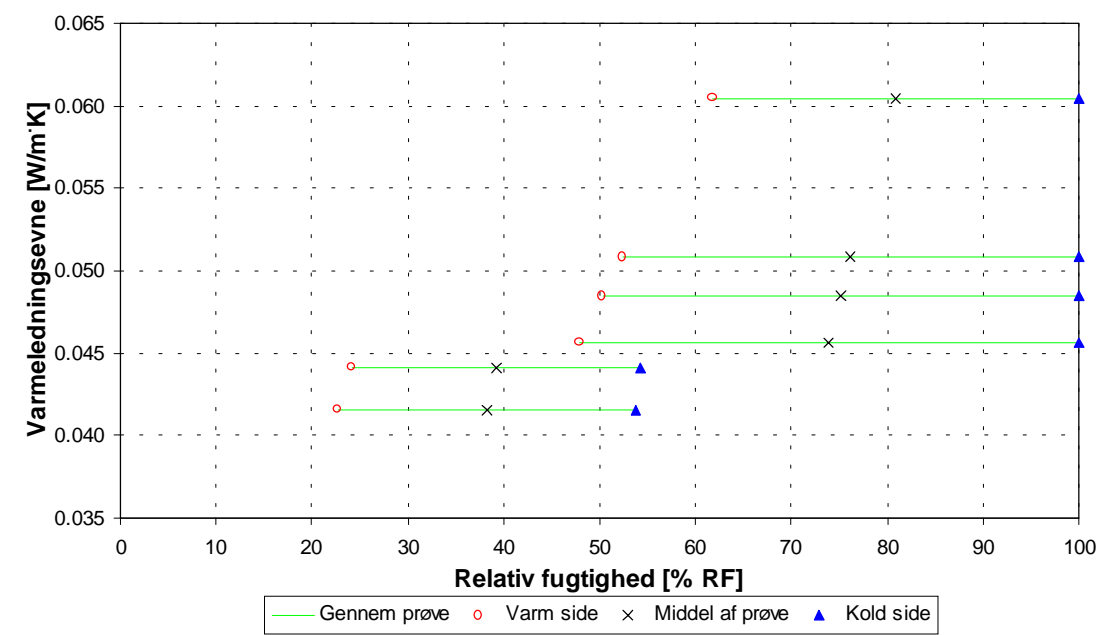
Rockwool - Detaljeret måleresultater for varmeledningsevne af mineraluld.

Rockwool 29,3 kg/m³												* Måling uden luftstrøm i spalter		--- Ikke målt	
Måling	Tid	Varmeplade effekt	Temp. diff. over prøve	Varmeded- ningsevne	Afvigelse ift. nr. 2	Varm spalte	Kold spalte	Middel spalter	Damptryksdiff. over spalter	Væskebade Saltopløsninger og temperatur	Lufttryksdiff. over prøve	Bemærkninger	Varm side prøve	Kold side prøve	Middel prøve
nr.	dato	W/m²	K	W/mK	%	%RF	%RF	%RF	Pa		Pa		%RF	%RF	%RF
*1	18.10.99	19.295	14.18	0.0408	7.4	27.4	65.9	46.6	0	"Rumløft"	---	Sammenligning	27.4	65.9	46.6
2	21.10.99	19.295	15.23	0.0380	0.0	23.9	62.1	43.0	0	"Rumløft"	---	Reference	23.9	62.1	43.0
3	25.10.99	19.295	15.05	0.0385	1.2	32.6	91.7	62.1	-84	Mg(NO3)2 (22°C), Mg(NO3)2 (22°C)	16,4		34.2	90.4	62.3
4	26.10.99	19.295	14.83	0.0390	2.7	39.8	91.2	65.5	187	Mg(NO3)2 (22,2°C), Mg(NO3)2 (26,3°C)	-2,7		36.3	94.1	65.2
5	28.10.99	19.295	14.75	0.0392	3.2	43.6	90.4	67.0	333	Mg(NO3)2 (22,3°C), Mg(NO3)2 (27,7°C)	-0,9		37.6	95.8	66.7
6	05.11.99	19.295	14.00	0.0413	8.7	51.0	90.4	70.7	563	Mg(NO3)2 (22,2°C), Mg(NO3)2 (28,9°C)	---	Ikke helt stabil	40.8	100.0	70.4
7	08.11.99	19.295	14.25	0.0406	6.8	53.9	90.3	72.1	694	Mg(NO3)2 (22,3°C), Mg(NO3)2 (30,6°C)	-0,9		41.7	100.0	70.8
8	14.11.99	19.405	13.85	0.0420	10.6	59.7	90.3	75.0	882	Mg(NO3)2 (22,3°C), Mg(NO3)2 (32,4°C)	3,4		44.5	100.0	72.2
9	18.11.99	19.405	13.53	0.0430	13.2	67.8	90.8	79.3	1108	Mg(NO3)2 (22,2°C), Mg(NO3)2 (33,4°C)	-2,2	Måske faldende tendens	49.8	100.0	74.9
10	19.11.99	19.350	13.30	0.0436	14.8	70.5	91.7	81.1	1202	Mg(NO3)2 (22,2°C), Mg(NO3)2 (34,3°C)	0,7		51.7	100.0	75.9
11	23.11.99	19.405	12.53	0.0465	22.3	71.6	89.1	80.4	1170	Mg(NO3)2 (22,2°C), Mg(NO3)2 (ca. 34,8°C)	---		52.8	100.0	76.4



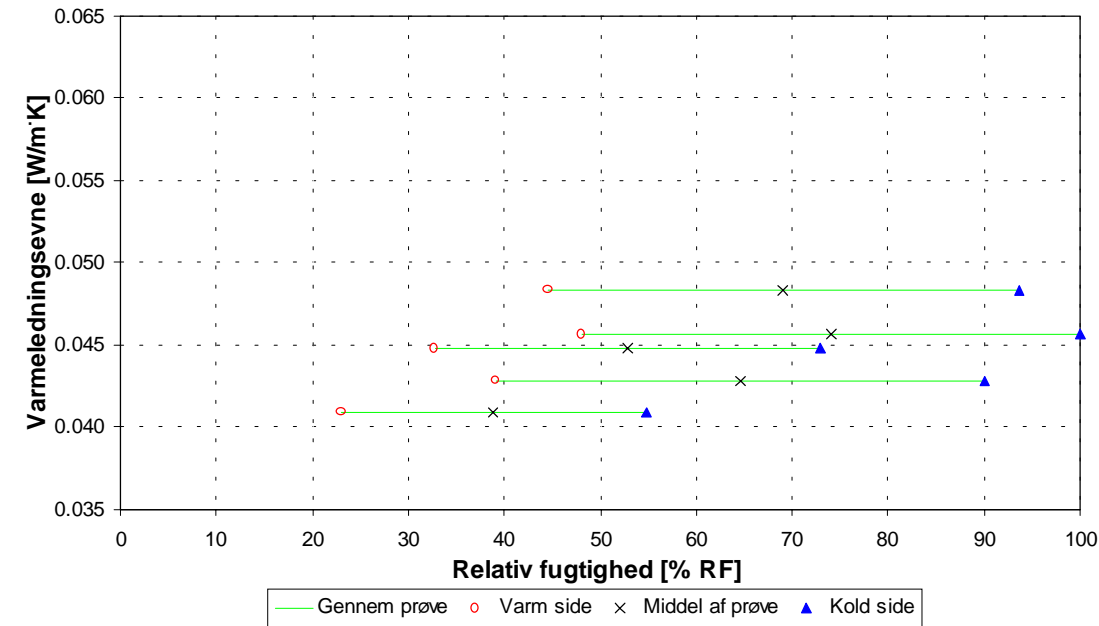
Miljø Isolering med salte - Detaljeret måleresultater for varmeledningsevne af papirisolering.

40,1 kg/m³												* Måling uden luftstrøm i spalter		--- Ikke målt	
Måling	Tid	Varmeplade effekt	Temp. diff. over prøve	Varmeled-ningsevne	Afvigelse ift. nr. 2	Varm spal-te	Kold spal-te	Middel spal-ter	Damptryksdiff. over spalter	Væskebade Saltopløsninger og temperatur	Lufttrykdif-f. over prøve	Bemærkninger	Varm side prøve	Kold side prøve	Middel prøve
nr.	dato	W/m²	K	W/mK	%	%RF	%RF	%RF	Pa		Pa		%RF	%RF	%RF
*1	28.11.99	19.405	13.20	0.0441	6.3	24.1	54.3	39.2	0	"Rumluft"	---	Sammenligning	24.1	54.3	39.2
2	29.11.99	19.405	14.03	0.0415	0.0	22.8	53.8	38.3	0	"Rumluft"	---	Reference	22.8	53.8	38.3
3	05.12.99	19.405	12.75	0.0457	10.0	60.7	91.1	75.9	677	Mg(NO3)2 (22,3°C), Mg(NO3)2 (31,1°C)	4.2	Ikke stabil	47.8	100.0	73.9
4	07.12.99	19.405	12.00	0.0485	16.9	63.4	91.1	77.2	677	Mg(NO3)2 (22,2°C), Mg(NO3)2 (30,9°C)	3.3	Ikke stabil	50.3	100.0	75.2
5	08.12.99	19.405	11.45	0.0508	22.5	65.7	91.1	78.4	684	Mg(NO3)2 (22,4°C), Mg(NO3)2 (30,8°C)	3.7	Ikke stabil	52.4	100.0	76.2
6	13.12.99	19.405	9.63	0.0605	45.7	74.9	92.3	83.6	713	Mg(NO3)2 (22,4°C), Mg(NO3)2 (30,9°C)	-1.9	Ikke stabil	61.8	100.0	80.9



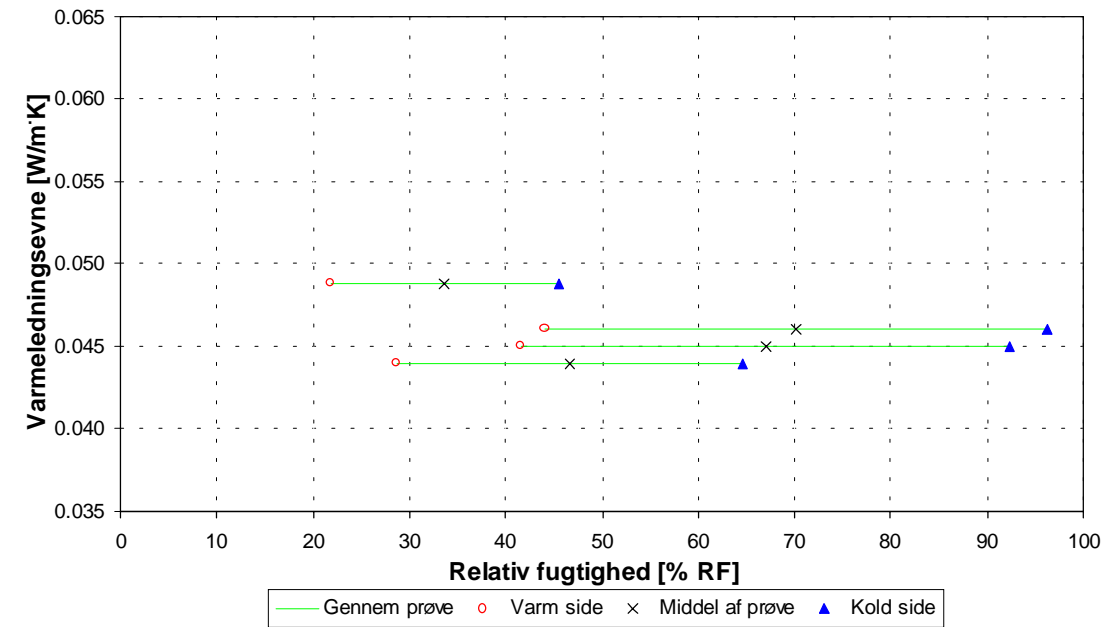
Miljø Isolering uden salte - Detaljeret måleresultater for varmeledningsevne af papirisolering.

Miljø Isolering uden salte40,1 kg/m³											* Måling uden luftstrøm i spalter		--- Ikke målt		
Måling	Tid	Varmeplade	Temp. diff.	Varmeded-	Afvigelse	Varm	Kold	Middel	Damptryksdiff.	Væskebade	Lufttryksdiff.	Bemærkninger	Varm side	Kold side	Middel
nr.	dato	W/m²	K	W/mK	%	%RF	%RF	%RF	Pa	Saltopløsninger og temperatur	Pa		%RF	%RF	%RF
*1	16.12.99	19.405	13.00	0.0448	9.4	30.2	74.5	52.3	-126	"Rumluft"	---	Sammenligning	32.8	72.9	52.8
2	20.12.99	19.405	14.23	0.0409	0.0	22.1	55.9	39.0	-57	"Rumluft"	-11.7	Reference	23.0	54.8	38.9
3	23.12.99	19.405	13.60	0.0428	4.6	47.8	82.5	65.2	227	Mg(NO3)2 (21.8°C), Mg(NO3)2 (29.8°C)	23.2	Ikke stabil	39.1	90.0	64.5
4	25.12.99	19.405	12.75	0.0457	11.6	56.1	99.2	77.6	419	Mg(NO3)2 (21.6°C), Mg(NO3)2 (29.9°C)	-11.2	Ikke stabil	48.1	100.0	74.0
5	27.12.99	19.405	12.05	0.0483	18.0	57.6	82.9	70.2	658	Mg(NO3)2 (21.6°C), Mg(NO3)2 (29.95°C)	14.7	Ikke stabil	44.5	93.6	69.0



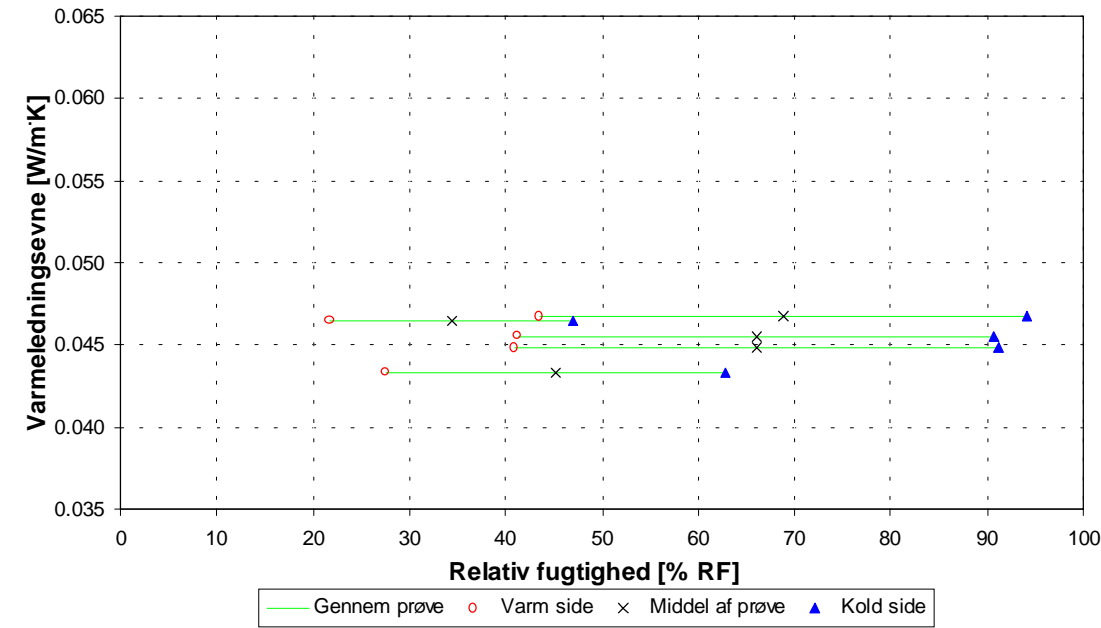
Isodan med salte - Detaljeret måleresultater for varmeledningsevne af papirisolering.

Isodan med salte40,1 kg/m³											* Måling uden luftstrøm i spalter		--- Ikke målt		
Måling	Tid	Varmeplade	Temp. diff.	Varmeled-	Afvigelse	Varm	Kold	Middel	Damptryksdiff.	Væskebade	Lufttryksdiff.	Bemærkninger	Varm side	Kold side	Middel
nr.	dato	W/m²	K	W/mK	%	%RF	%RF	%RF	Pa	Saltopløsninger og temperatur	Pa		%RF	%RF	%RF
*1	29.12.99	19.461	11.95	0.0489	11.2	21.8	45.5	33.6	0	"Rumluft"	---	Sammenligning	21.8	45.5	33.6
2	30.12.99	19.405	13.25	0.0439	0.0	27.7	65.5	46.6	-55	"Rumluft"	-5.4	Reference	28.7	64.5	46.6
3	02.01.00	19.461	12.98	0.0450	2.4	51.3	83.9	67.6	497	Mg(NO3)2 (21.3°C), Mg(NO3)2 (29.3°C)	31.1	Muligvis stabil	41.6	92.3	67.0
4	03.01.00	19.461	12.68	0.0461	4.8	54.8	86.2	70.5	550	Mg(NO3)2 (21.7°C), Mg(NO3)2 (29.8°C)	1.1	Givetvis faldende	44.1	96.2	70.1



Isodan uden salte - Detaljeret måleresultater for varmeledningsevne af papirisolering.

Isodan uden salte60,1 kg/m³											* Måling uden luftstrøm i spalter		--- Ikke målt		
Måling	Tid	Varmeplade	Temp. diff.	Varmede-	Afvigelse	Varm	Kold	Middel	Damptryksdiff.	Væskebade	Lufttryksdiff.	Bemærkninger	Varm side	Kold side	Middel
nr.	dato	W/m²	K	W/mK	%	%RF	%RF	%RF	Pa	Saltopløsninger og temperatur	Pa		%RF	%RF	%RF
*1	05.01.00	19.461	12.58	0.0464	7.2	21.7	47.0	34.3	0	"Rumluft"	---	Sammenligning	21.7	47.0	34.3
2	07.01.00	19.461	13.48	0.0433	0.0	27.4	63.0	45.2	-5	"Rumluft"	-1.2	Reference	27.6	62.8	45.2
3	10.01.00	19.461	13.03	0.0448	3.5	51.6	81.7	66.7	276	Mg(NO3)2 (21.8°C), Mg(NO3)2 (29.7°C)	10.7	Ikke stabil	41.0	91.2	66.1
4	11.01.00	19.405	12.80	0.0455	5.0	53.1	81.7	67.4	610	Mg(NO3)2 (21.9°C), Mg(NO3)2 (29.6°C)	---	Ikke stabil	41.3	90.7	66.0
5	14.01.00	19.461	12.50	0.0467	7.8	55.4	84.6	70.0	600	Mg(NO3)2 (21.8°C), Mg(NO3)2 (29.6°C)	1.5	Måske stabil	43.5	94.1	68.8



Appendix B

Fejl på måling af varmeledningsevne pga. usikkerhed på reguleringen af elvarmelegeme til temperaturdifferens mellem luftind- og udløb i luftspalte på varm side.

